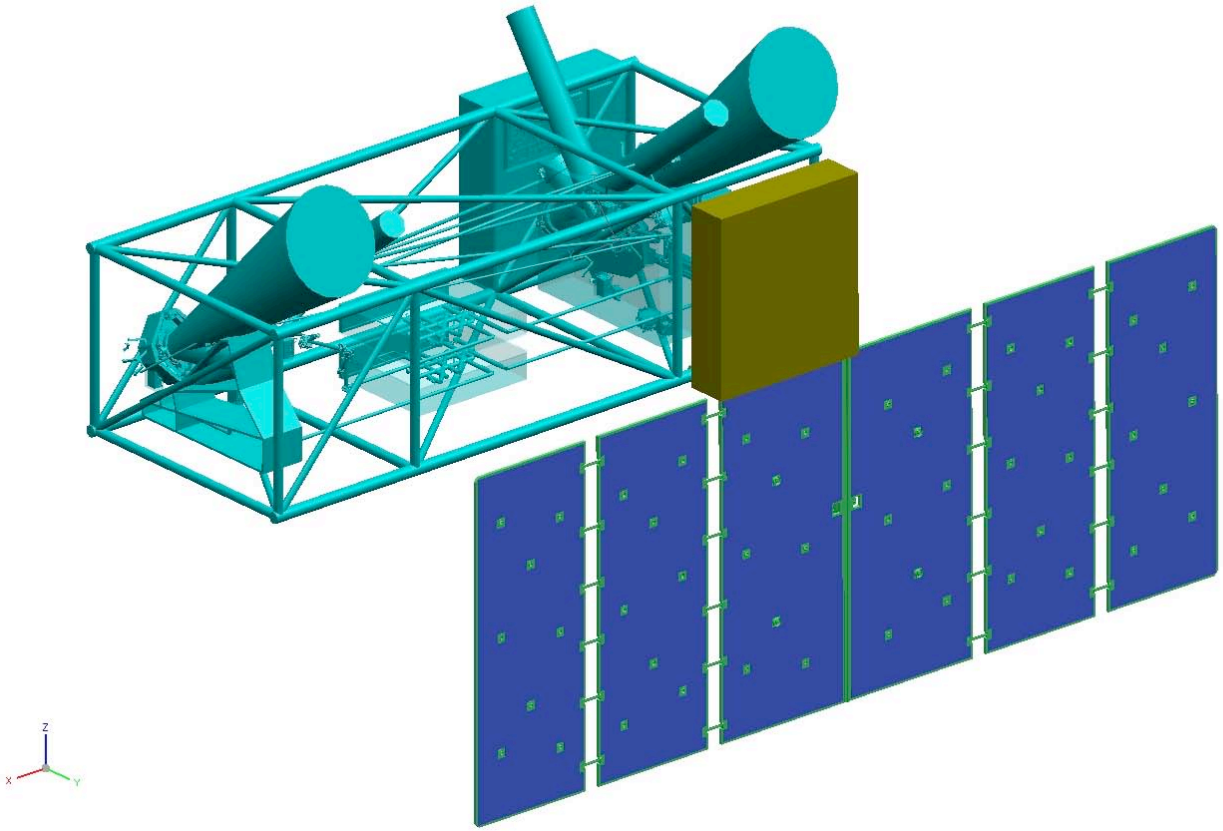
Séminaire de Prospective du CNES 2009

Proposition de participation à SIM-Lite



A. Léger, F. Malbet 29 sept 2008

Les Exoplanètes en 2008

- Motivation de base

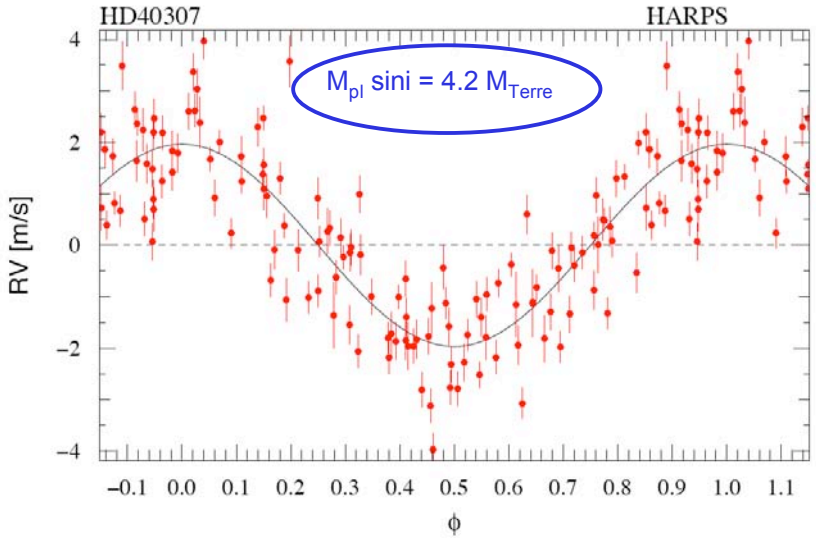
*Nous vivons **une époque remarquable**, pour la première fois nous avons la possibilité de répondre scientifiquement à une des questions que se pose l'Humanité depuis plusieurs millénaires: "la Vie est elle **spécifique** à la Terre ou est-elle **fréquente** dans l'Univers?"*

- 2008, Vitesses Radiales

  - Outre les X-pl géantes, les telluriques

  - Michel Mayor (juin 2008):

    30% (+/- 10%) des étoiles ont des Neptunes ou des Super-Terres (chaudes)



Feuille de route?

- Ce sont les objectifs de *Blue Dot Team* et *EPR-AT* (ESA)

- Une ***possibilité***:

(1) ∃ des planètes telluriques / Zone Habitable ?

==> Képler (**2009**), PLATO (?) (**2020**)

(2) Identification de telles planètes proches (< 20 pc)

==> Astrométrie spatiale (SIM-L) , VR(?), ~~transits~~, ~~microlensing~~

(3) Caractérisation spectroscopique de ces objets

==> IR (*Darwin* = TPF-I)

et/ou Visible (TPF-C, NWO)

Identification de planètes proches

Comment ?

- Transits: *NON* (probabilité = 0.5%)
- Microlensing: *NON* (objets lointains)
- Détection directe: *Possible* mais coûteux
- Vitesses Radiales: *Possible* ***si*** σ_{instr} = 0.05 m/s, ***bruit astrophysique = ?***
- Astrométrie: *Possible* si σ = 0.05 μas, ***bruit astrophysique = OK***

Intérêt ?

- Identification explicite (ex: 2 M_{Terre} autour de τ Ceti, à 1.1 UA)

  ==> stimulerait le désir d'en savoir plus…

  ==> ferait gagner du temps de la mission spectroscopique

- La mission astrométrique est la prochaine mission recommandée aux USA par l'Exoplanet Task Force

Quelques chiffres

- terre / soleil, 10 pc --> $\Delta\theta$ **= 0.30 μas**

  0.6 mm vus à $D_{\text{Terre - Lune}}$ ...

- Bien au delà du critère de Rayleigh (D = 6 m ==> 20 mas)

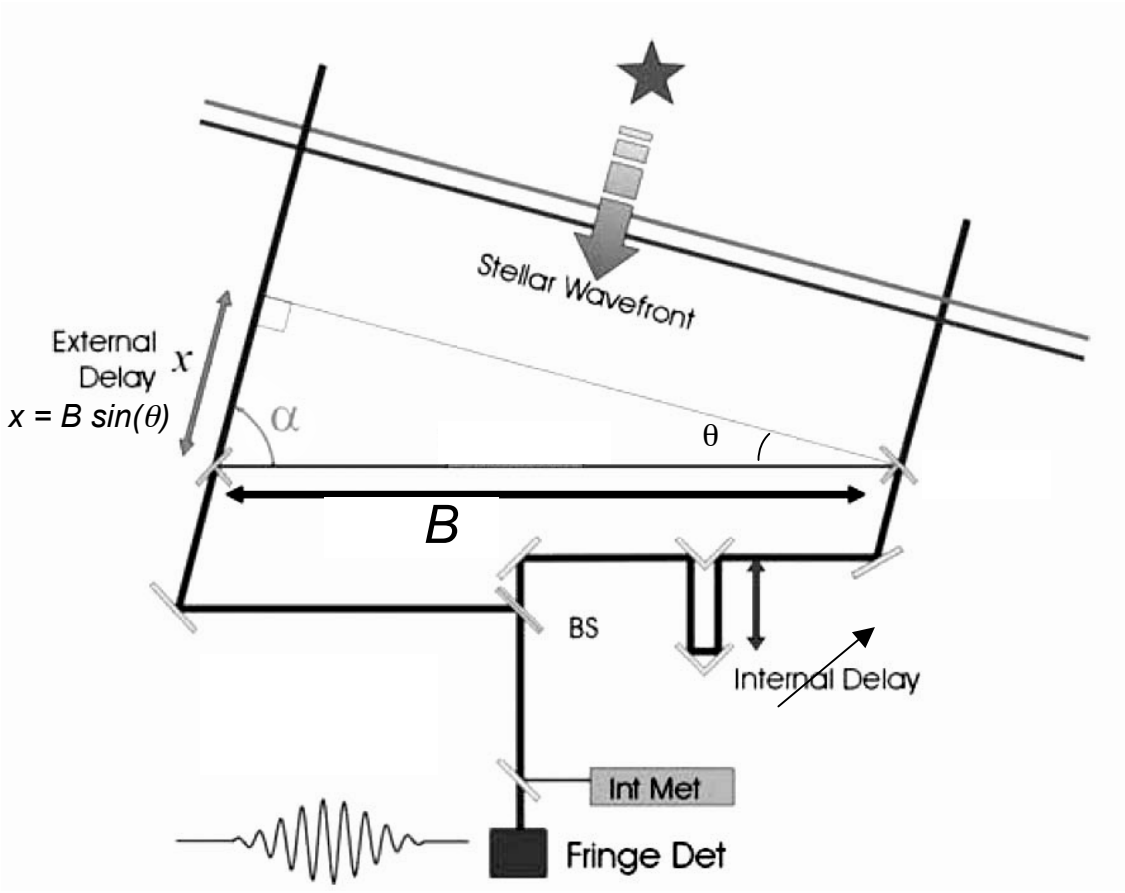
  mais: position barycentre photosphère
  technique différente

- GAIA: **20 μas** (1 000 fois mieux que Hipparcos…)

  ==> jupiter / soleil, 10 pc --> **500 μas**

Astrométrie avec un interféromètre

- Principe



- $DDM_{tot} = DDM_{ext} + DDM_{int}$

↑ franges ↑ WANTED ↑ métrologie interne

Astrométrie avec interféromètre (2)

- Précision requise / DDM_{int}?

  $\delta\theta$ **= 0.30 μas**

  L = B *sin*(θ) <==> δL = **10 pm** (10^{-11} m ~ 1/100 dist. atom.)

  $\sigma_{métrol}$ = 3 pm *démontrés par la R&T*

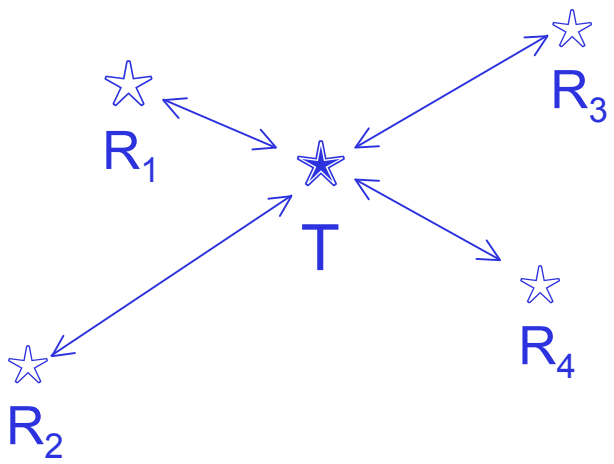
- Positionner *B* / ciel (étoiles de référence)

  SIM --> 2 interféros (*base* = 9 m)

  SIM-L --> 1 interféro + 1 télescope (*base* = 6 m)

- Cycle de mesures (différentielles)

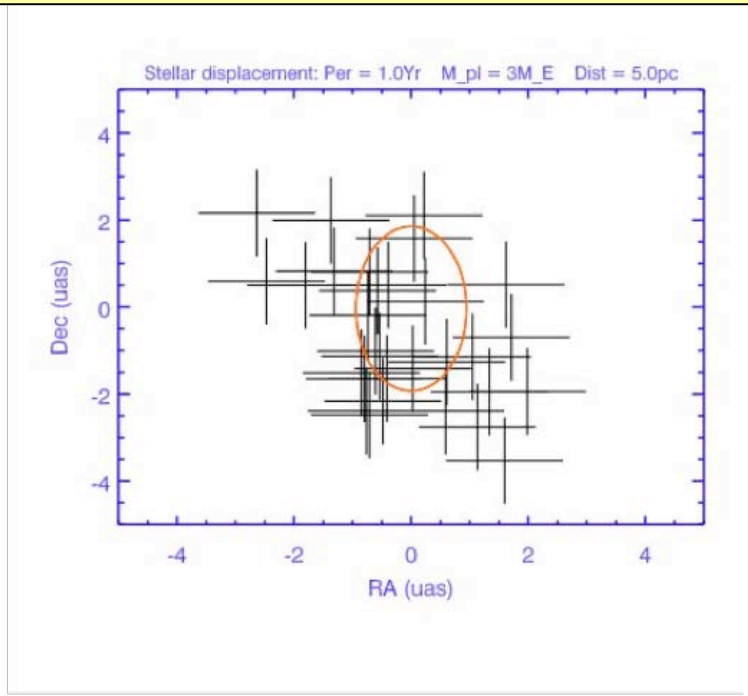
  ~ 70 pointés <--> 2 h ==> σ **= 0.60 μas**

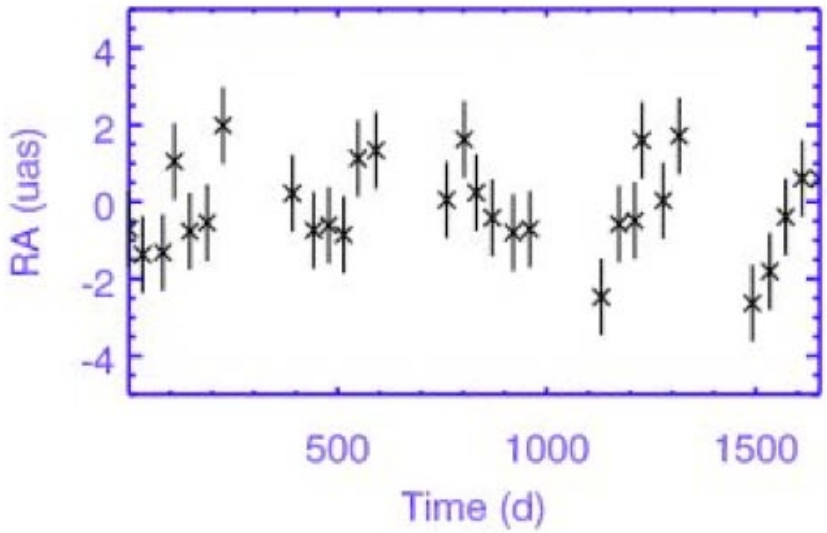


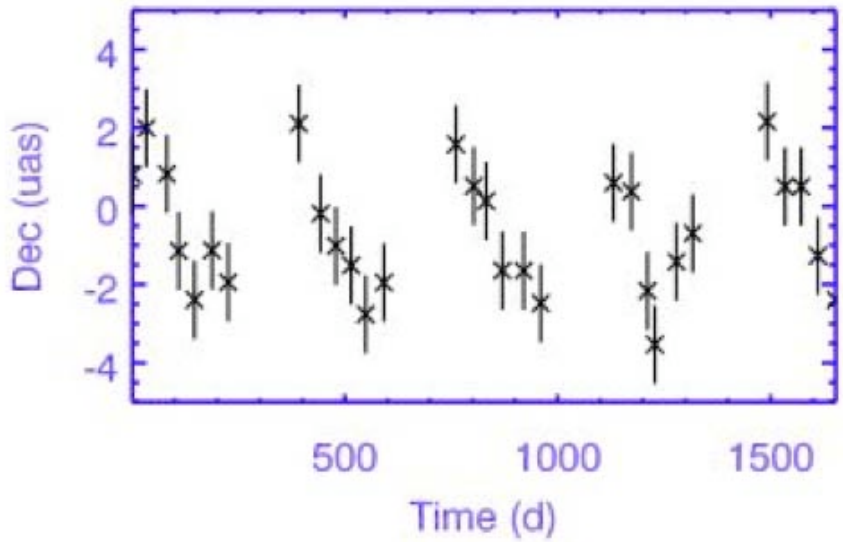
SIM-Lite, mode opératoire

1) Mesures à 0.60 μas

Cas $M_{pl} = 3\ M_T$ -->



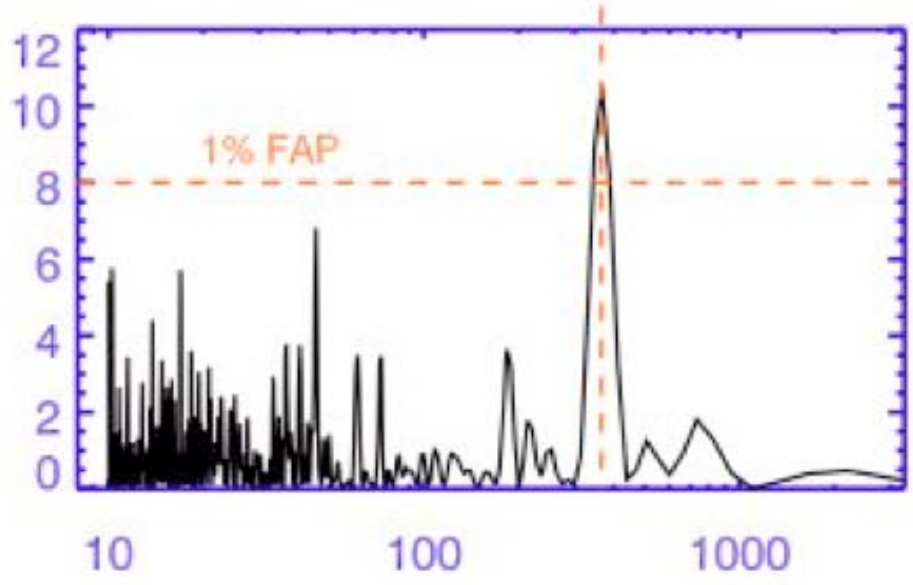




SIM-Lite, mode opératoire

2) Combinaison des mesures

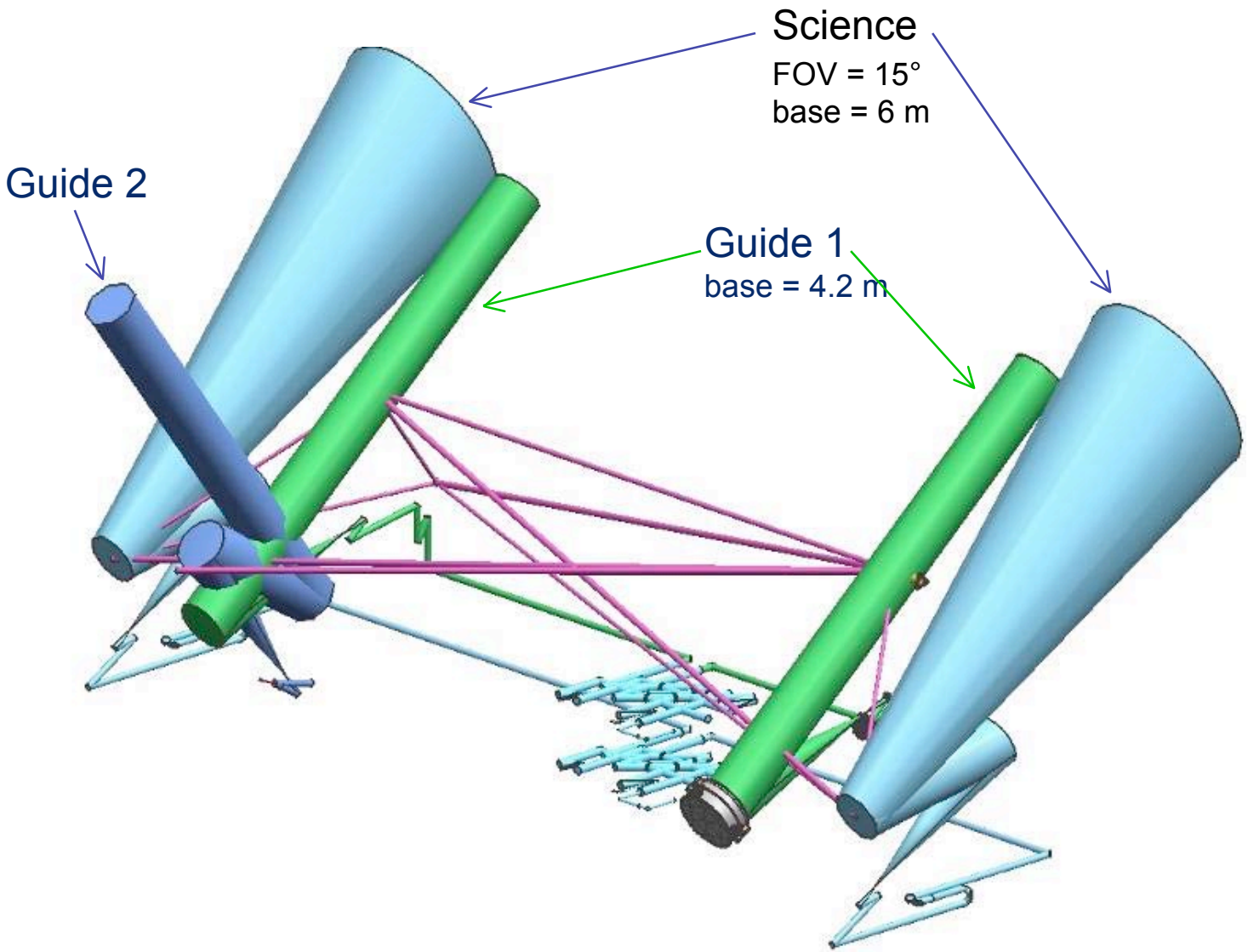
périodogramme ==> période planète



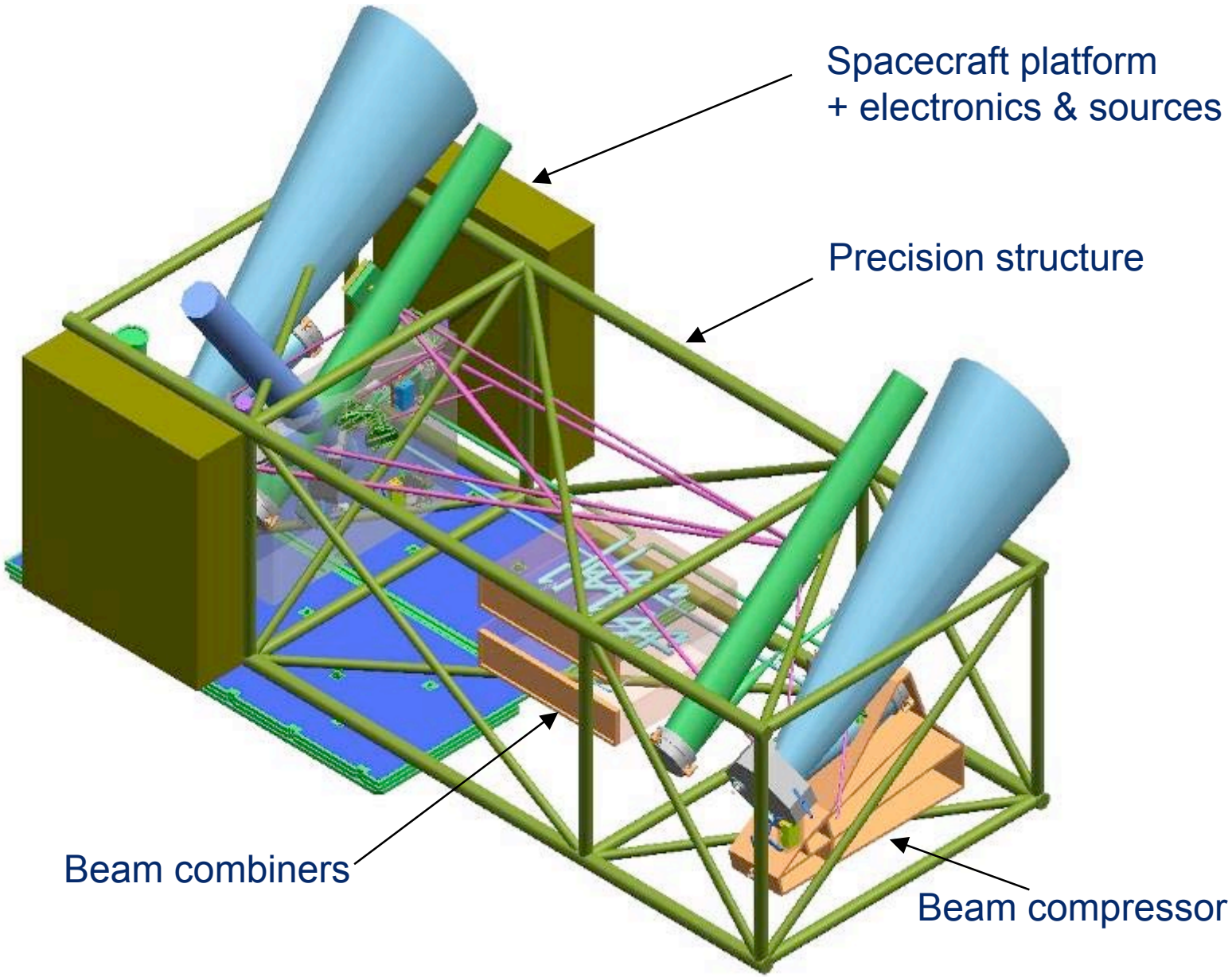
3) Ajustement / modèle Keplerien

==> M_{pl}, a, e,…, éphémérides

SIM-Lite, instrument



SIM-Lite, instrument



SIM-L, catalogue de cibles possibles

1) Optimisation M_{pl} = 1 M_{terre} ==> **60 cibles**

Star#	Name	m_v	D (pc)	L/L₀	Ampl (M_{pl} =1M_T) (uas)	t_integ (hrs)
1	**Alpha Cen A**	0,0	1,3	1,35	2,40	4
2	**Alpha Cen B**	1,4	1,3	0,34	1,72	7
3	**Tau Cet**	3,5	3,6	0,39	0,66	51
4	Beta Hyi	2,8	7,5	3,24	0,53	78
5	**Eps Eri**	3,7	3,2	0,21	0,64	85
6	Delta Pav	3,7	6,1	1,02	0,49	90
7	Pi3 Ori	3,2	8,0	2,86	0,48	95
8	Epsilon Ind A	4,7	3,6	0,10	0,48	96
9	Omicron2 Eri A	4,4	5,0	0,29	0,45	111
10	82 Eri	4,3	6,1	0,54	0,43	120
……						
57	111 Tau	5,0	14,7	1,74	0,23	403
58	12 Oph	5,8	9,8	0,31	0,23	404
59	g Lup	4,6	17,5	3,60	0,23	407
60	Nu Phe	5,0	15,1	1,86	0,23	411

2) Optimisation M_{pl} = 3 M_{terre} ==> **160 cibles**

Capacités de détection (test en aveugle)

- Rappel:

  à 10 pc, une terre --> 0.3 μas

  un jupiter --> 500 μas (donc >> une terre)

==> Q: SIM-L peut-il détecter des Terres dans des systèmes planétaires ***multiples*** ?

R: test en double aveugle (été 2008)

- Test: 4 groupes:

  (G1): modélisation de la formation planétaire --> échantillon

  (5 équipes, ~ 500 systèmes au total)

  (G2): simulation des données

  (1 équipe, 48 systèmes pris au hasard / 500, + bruit)

  (G3): recherche des planètes / données simulées

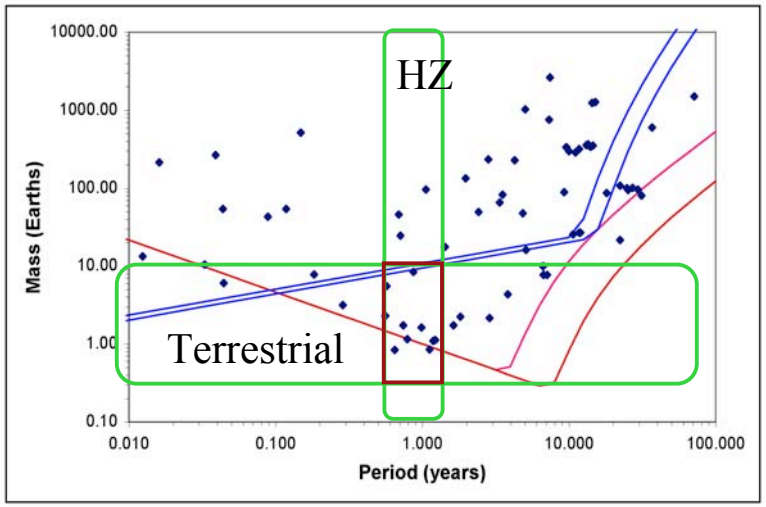
  (5 équipes)

  (G4): synthèse

Test (résultat)

- Planètes présentes

48 objets -->



- Résultats

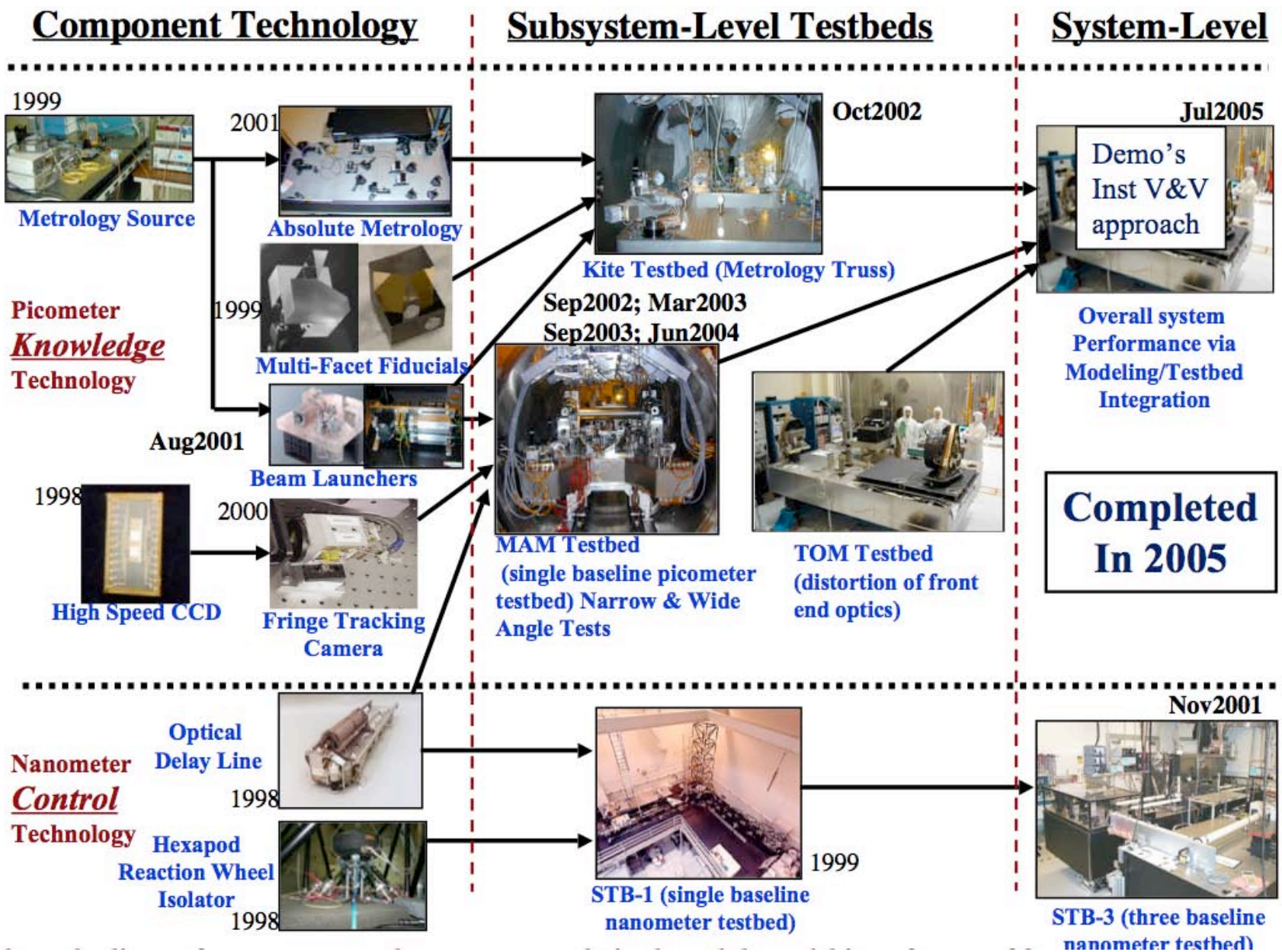
- Fiable? = probabilité qu'une détection soit vraie

- Complet? = " que toutes soient détectées ($M_{pl} \geq 1\ M_T$)

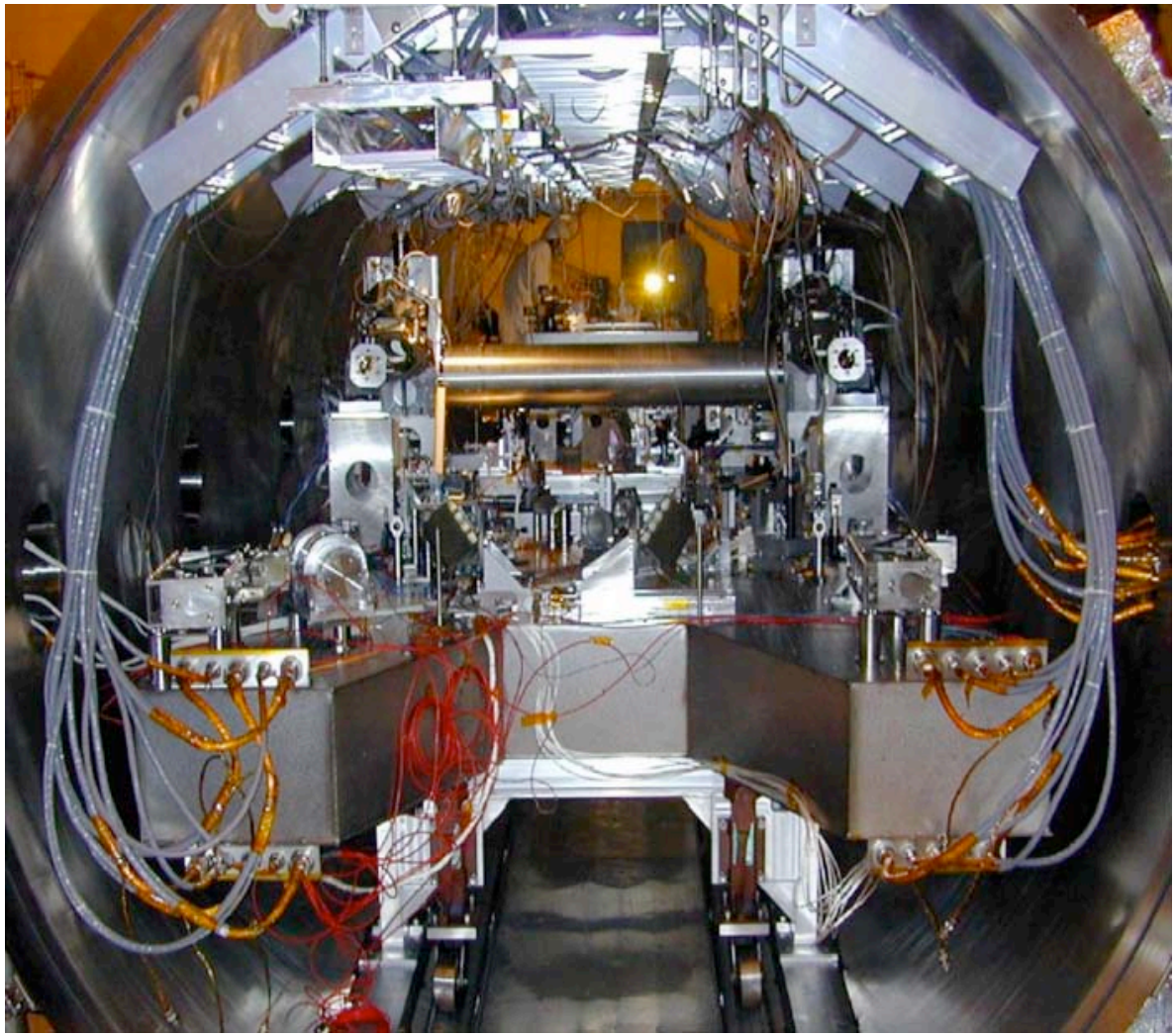
Fiable?	Eq. 1	Eq. 2	Eq.4	Eq. 5
Toutes pl.	70%	87%	89%	98%
Terrestres	41%	86%	80%	96%
HZ	44%	76%	79%	100%
Terr & HZ	40%	80%	71%	100%

Complet?	Eq. 1	Eq. 2	Eq.4	Eq. 5
Toutes pl.	60%	91%	89%	95%
Terrestres	28%	81%	81%	90%
HZ	53%	84%	84%	100%
Terr & HZ	42%	71%	71%	100%

Maturité


Component Technology
Subsystem-Level Testbeds
System-Level
1999
Metrology Source
2001
Absolute Metrology
1999
Multi-Facet Fiducials
Picometer
Knowledge
Technology
Aug2001
Beam Launchers
1998
High Speed CCD
2000
Fringe Tracking Camera
Oct2002
Kite Testbed (Metrology Truss)
Sep2002; Mar2003
Sep2003; Jun2004
MAM Testbed (single baseline picometer testbed) Narrow & Wide Angle Tests
TOM Testbed (distortion of front end optics)
Jul2005
Demo's Inst V&V approach
Overall system Performance via Modeling/Testbed Integration
Completed In 2005
Nanometer
Control
Technology
Optical Delay Line
1998
Hexapod
Reaction Wheel
Isolator
1998
1999
STB-1 (single baseline nanometer testbed)
Nov2001
STB-3 (three baseline nanometer testbed)

Maturité



Un testbed dans son enceinte à vide

Programmes scientifiques

- Outre un relevé profond (exoplanètes proches = 45% du temps)

- Astronomie générale:

- la distribution en masse de notre galaxie (etoiles et matiere noire)
- la fonction de masse des "dark lensing objects"
- la présence des trous noirs massifs dans le coeur des galaxies
  (extension de ce que l'on fait deja pour le trou noir de notre galaxie)
- origine de l'émission optique compacte des AGN et des quasars
- mesures de la masse totale des galaxies du groupe local
- distances precises des chandelles standard,
  obtention d'une precision de 1% sur l'échelle de distance extragalactique (Ho)
- masses des étoiles à neutron et des trous noirs galactiques
- distance et ages des amas globulaires
- exoplanetes dans autour d'etoiles variées (jeunes, évoluées,...)

Complémentarité avec GAIA

- Instrument pointé (0.3 μas sur centaines d'objets)
  / astrométrie globale (10 μas sur millions ")

- Exemples de suivi post-GAIA
  1. Parallaxes absolues de chandelles (céphéïdes) dans milieux à faible métallicité (ex: LMC)
     ==> ***L = f(Période, [Fe/H])***

  2. Dynamique du ***groupe local*** de galaxies, pas uniquement de notre Galaxie

  3. Mouvements internes dans Amas Globulaires

- Atelier de coordination (Nov. 2008, Londres)

Proposition au CNES

- Participation à l'instrument
  de **10 - 20 M€**, soit 5 - 10% de l'instrument (350 M$ + 30% marge)

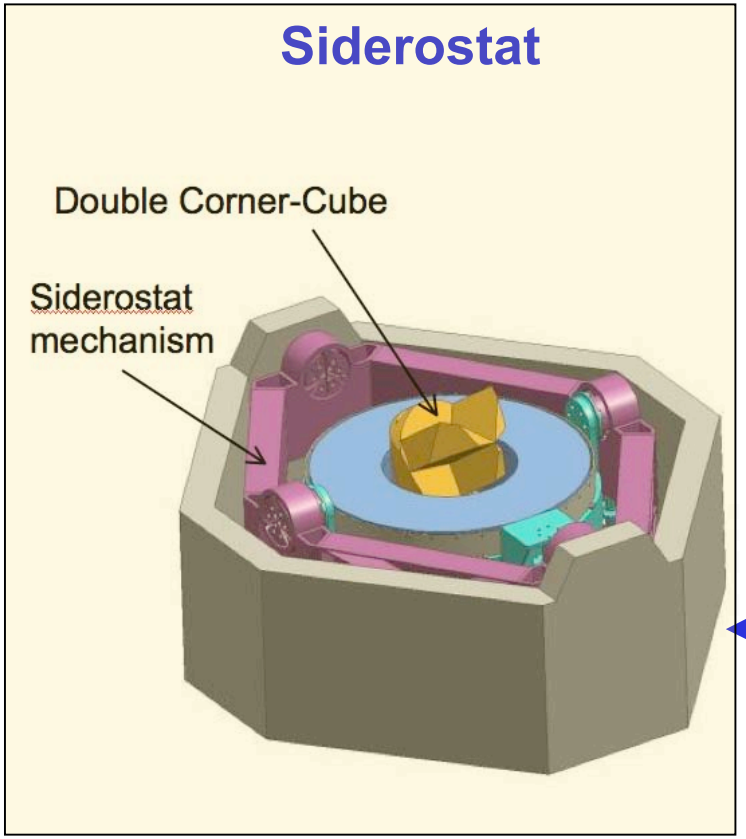
- Participation à la réduction des données (***JMMC*** ?)
  et l'exploitation scientifique (planètes + post-GAIA?)

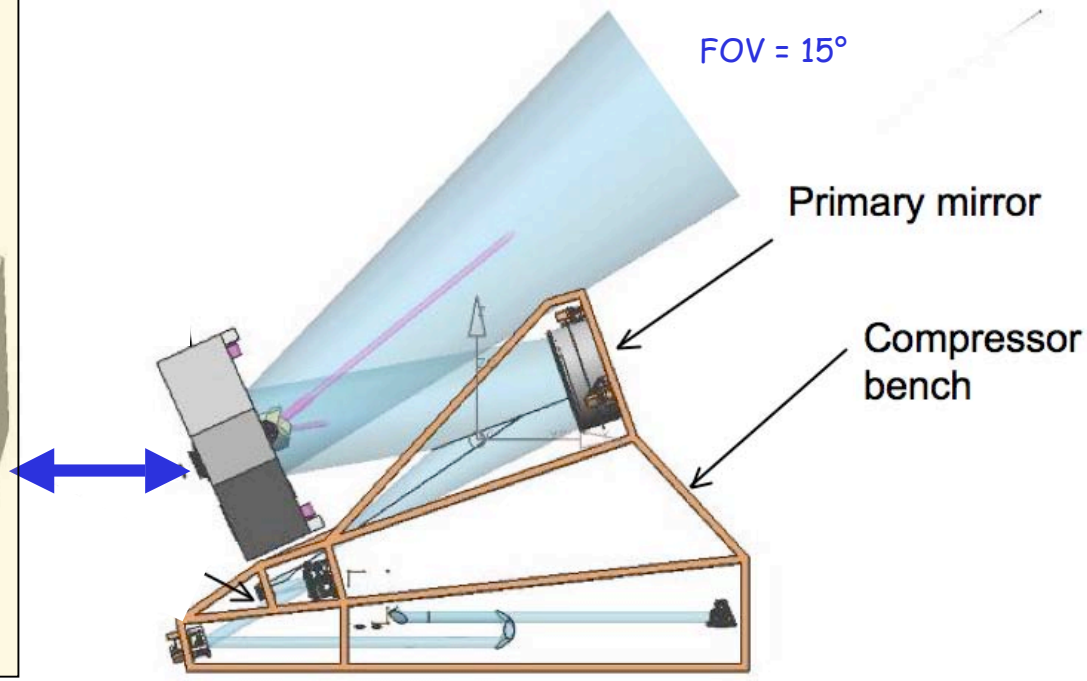
- Exemples de réalisations possibles

Task	Description	Estimated
Science Siderostats	2 flight units: motor based, two-axis, gimbal mechanism optic: 560mm diameter flat mirror with 280mm diameter embedded double-corner-cube mechanical travel: 8degrees mechanical accuracy: 0.5arcsec mechanical resolution: 0.2arcsec	10-15 k$
Science Compressor Benches	2 flight units: Low-CTE composite bench primary mirror: 540mm diameter off-axis parabola seconday mirror: 65mm diameter off-axis parabola mechanical interfaces for 7 optical assemblies	5-10 k$
Camera (detectors)	5 flight units: detector: E2V CCD39 operating temperature: -110degreeC read noise: 5electrons	$ 10 000 k

Exemple participation/ instrument

Siderostat + banc de compression





Communauté française intéressée

Co-PIs:
Alain Léger (IAS)
Fabien Malbet (LAOG)

Proposants

LAOG (Grenoble)
Absil Olivier
Berger Jean-Philippe
Beust Hervé
Bonfils Xavier
Bouvier Jérôme
Delfosse Xavier
Ehrenreich David
Forveille Thierry
Lagrange Anne-Marie
Monin Jean-Louis
Perrier Christian

IAS (Orsay)
Bordé Pascal
Chazelas Bruno (et Obs. Genève)
Gabor Pavel
Schuller Peter

LAB (Bordeaux)
Charlot Patrick
Ducourant Christine
Krone-Martins Alberto
Selsis Franck

LAM + OCA (Côte d'Azur)
Deleuil Magali
Rabbia Yves

LESIA (Meudon)
Rouan Daniel

CBM (Orléans)
Westall Francès

JMMC (Interférométrie)
Chelli Alain (prés.)

GAIA (en cours)

CONCLUSION

- Une proposition de coopération ***"gagnant - gagnant"***

- **USA**
  - une mission technologiquement prête
  - un financement en discussion (coopération = signal positif)
  - bénéficier de l'expertise française (Hipparcos, GAIA, interférométrie…)

- **France**
  - pour un ***investissement limité*** (3 - 10%), accès à une ***étape majeure*** / exoplanètes
  - bénéficier d'un travail de R&T de 300 M$…
  - continuer notre rôle de pionnier
    (51 Peg sur instrument français, HARP = franco-suisse, CoRoT, prop. *Darwin*…)

Une occasion à ne pas manquer

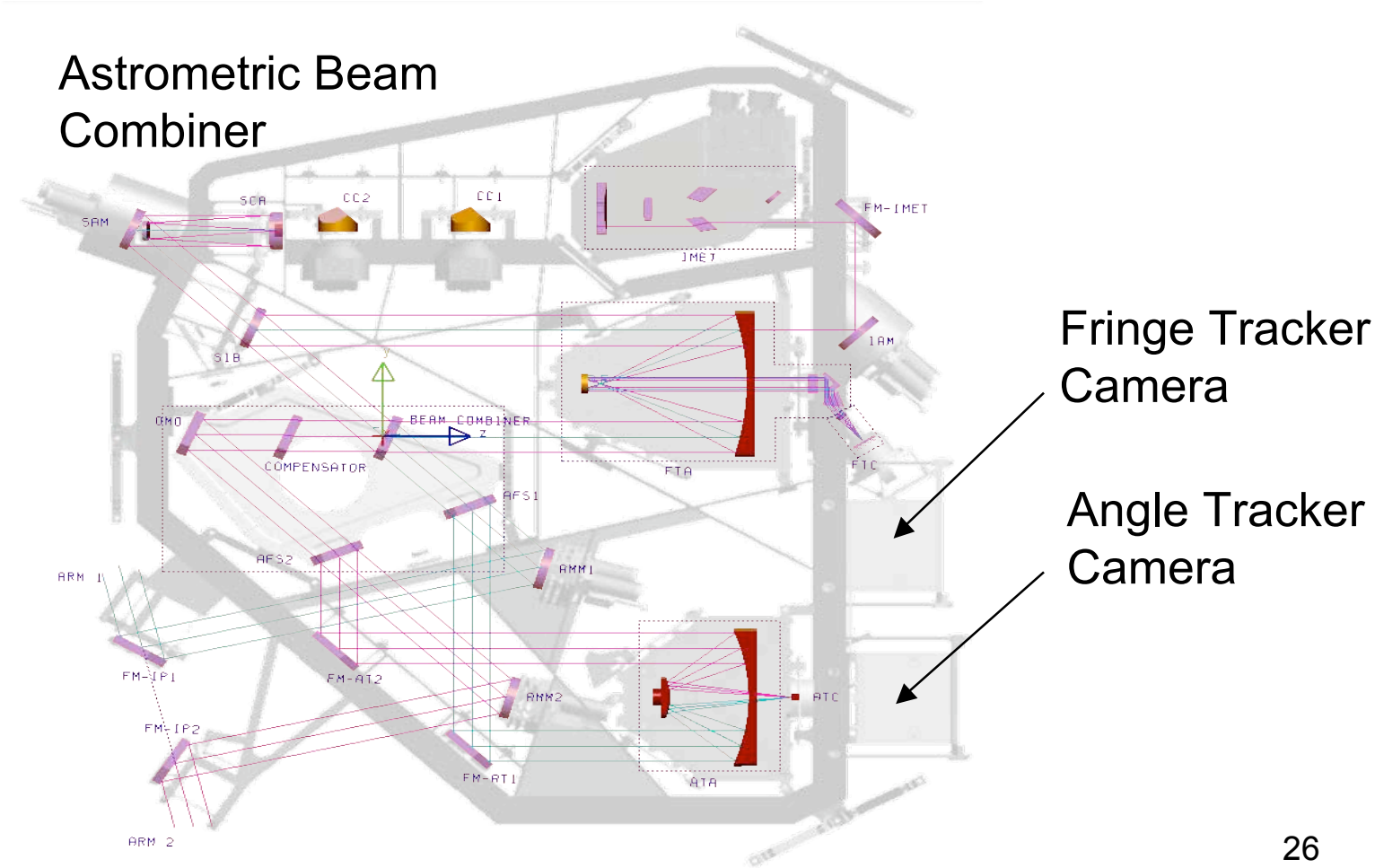
Merci

Programme scientifique de SIM

- la distribution en masse de notre galaxie (etoiles et matiere noire)
- la fonction de masse des "dark lensing objects"
- la présence des trous noirs massifs dans le coeur des galaxies
  (extension de ce que l'on fait deja pour le trou noir de notre galaxie)
- origine de l'émission optique compacte des AGN et des quasars
- mesures de la masse totale des galaxies du groupe local
- distances precises des chandelles standard,
  obtention d'une precision de 1% sur l'échelle de distance extragalactique (Ho)
- masses des étoiles à neutron et des trous noirs galactiques
- distance et ages des amas globulaires
- exoplanetes dans autour d'etoiles variées (jeunes, évoluées,...)

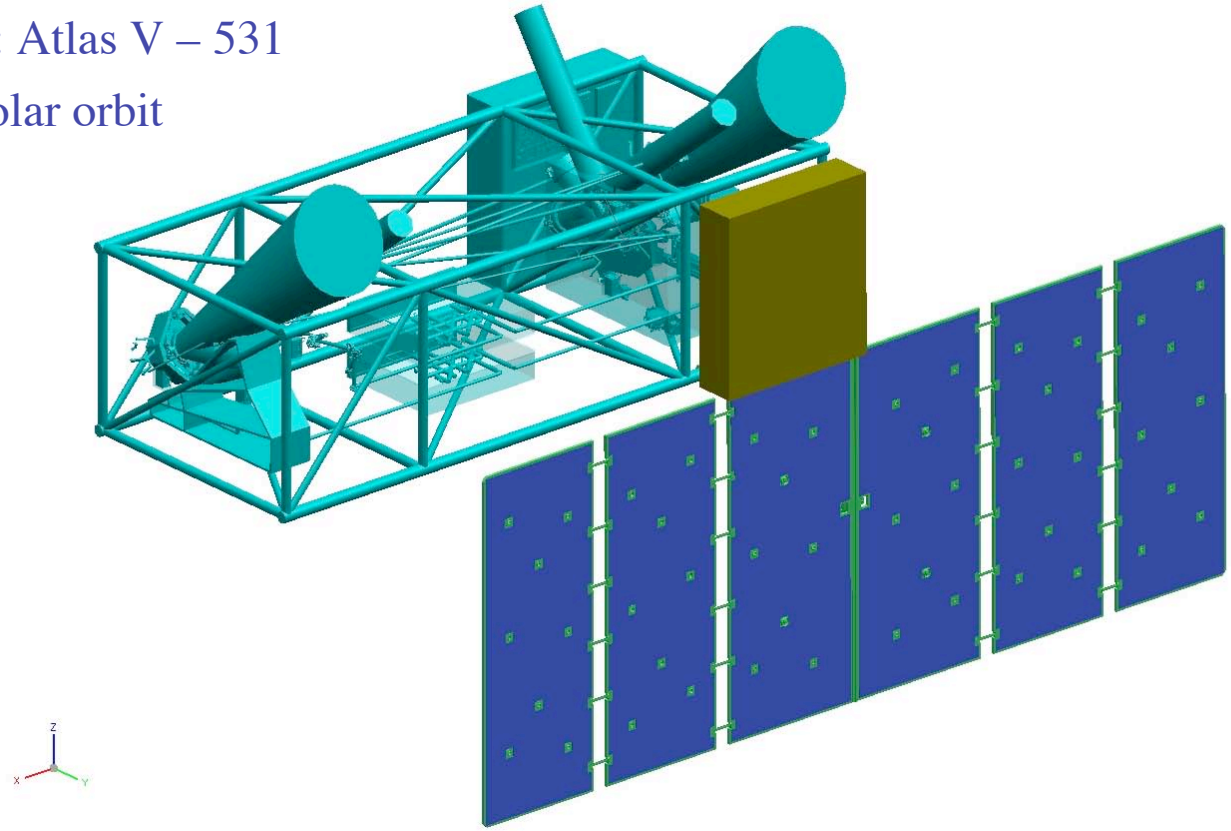
Caméras

5 flight units: detector: E2V CCD39 operating temperature: -110 degreeC read noise: 5 electrons	10 - 15 kE

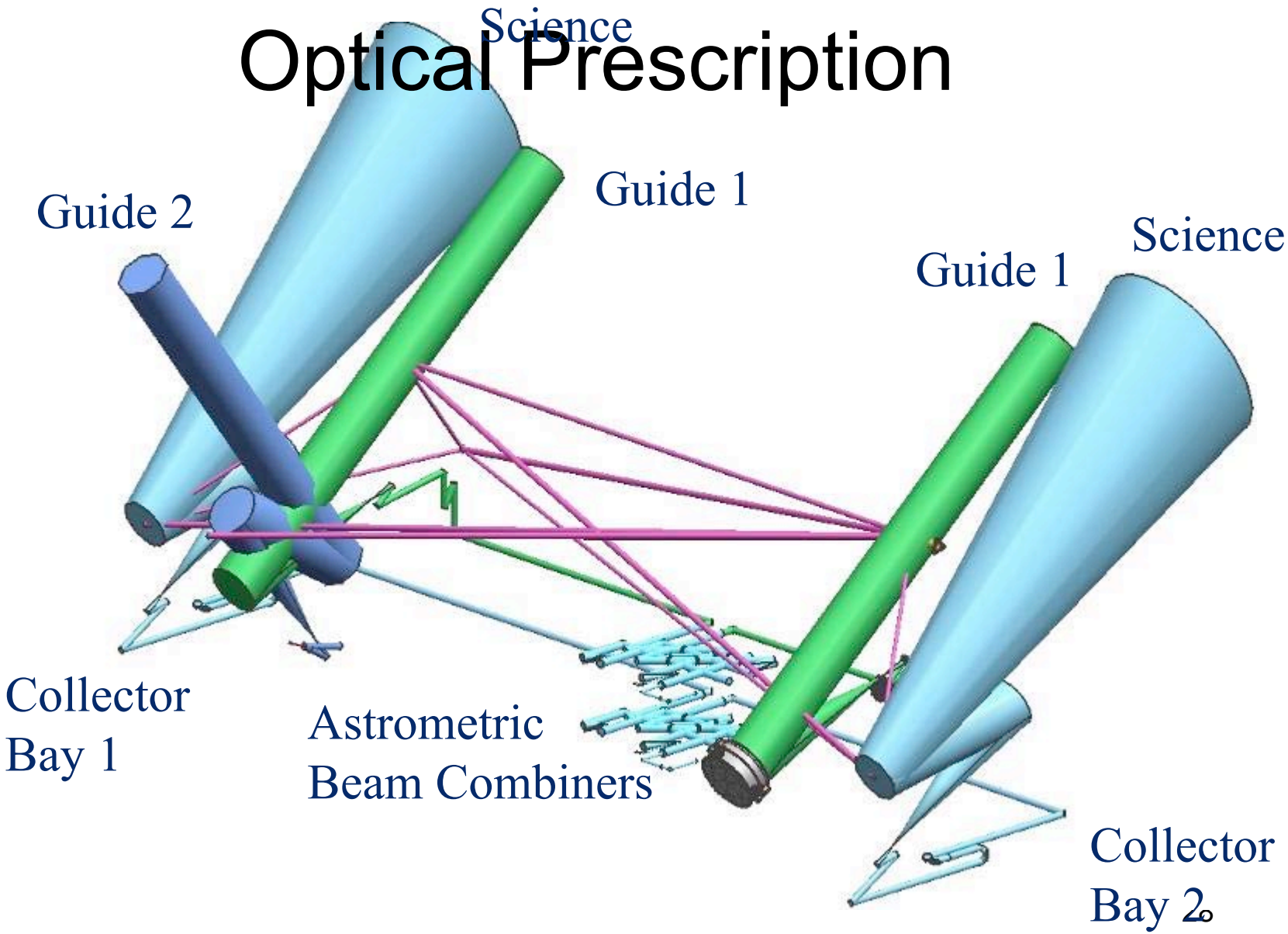


SIM-Lite Mission

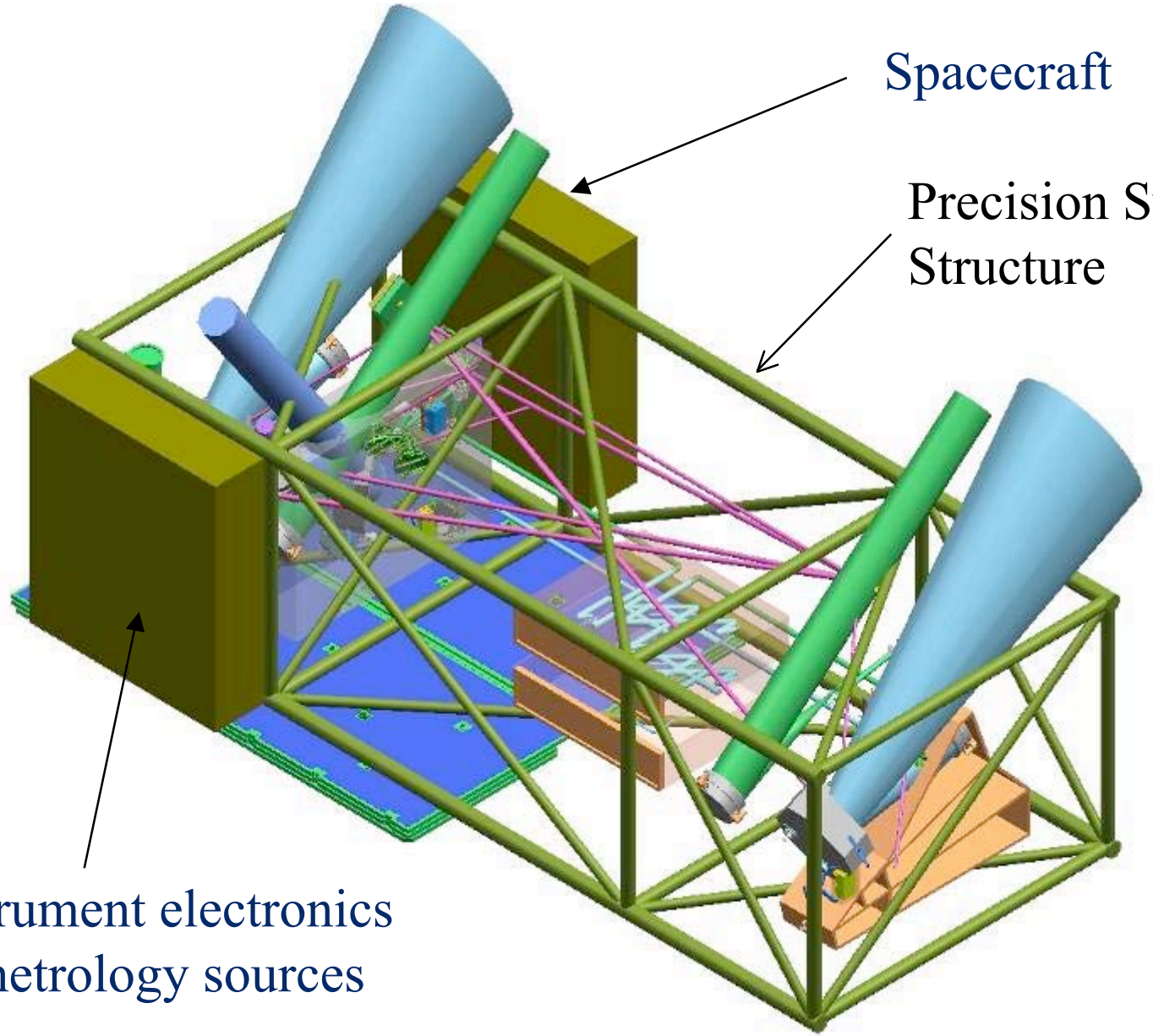
- ***6 meter science Michelson Stellar Interferometer (MSI)***
- ***4.2meter Guide 1 Interferometer***
- ***30cm Guide 2 Telescope***
- Visible wavelength 450 – 950 nm.
- Mass without contingency 3,750 kg.
- Launch vehicle: Atlas V – 531
- Earth-trailing solar orbit
- 5 year mission



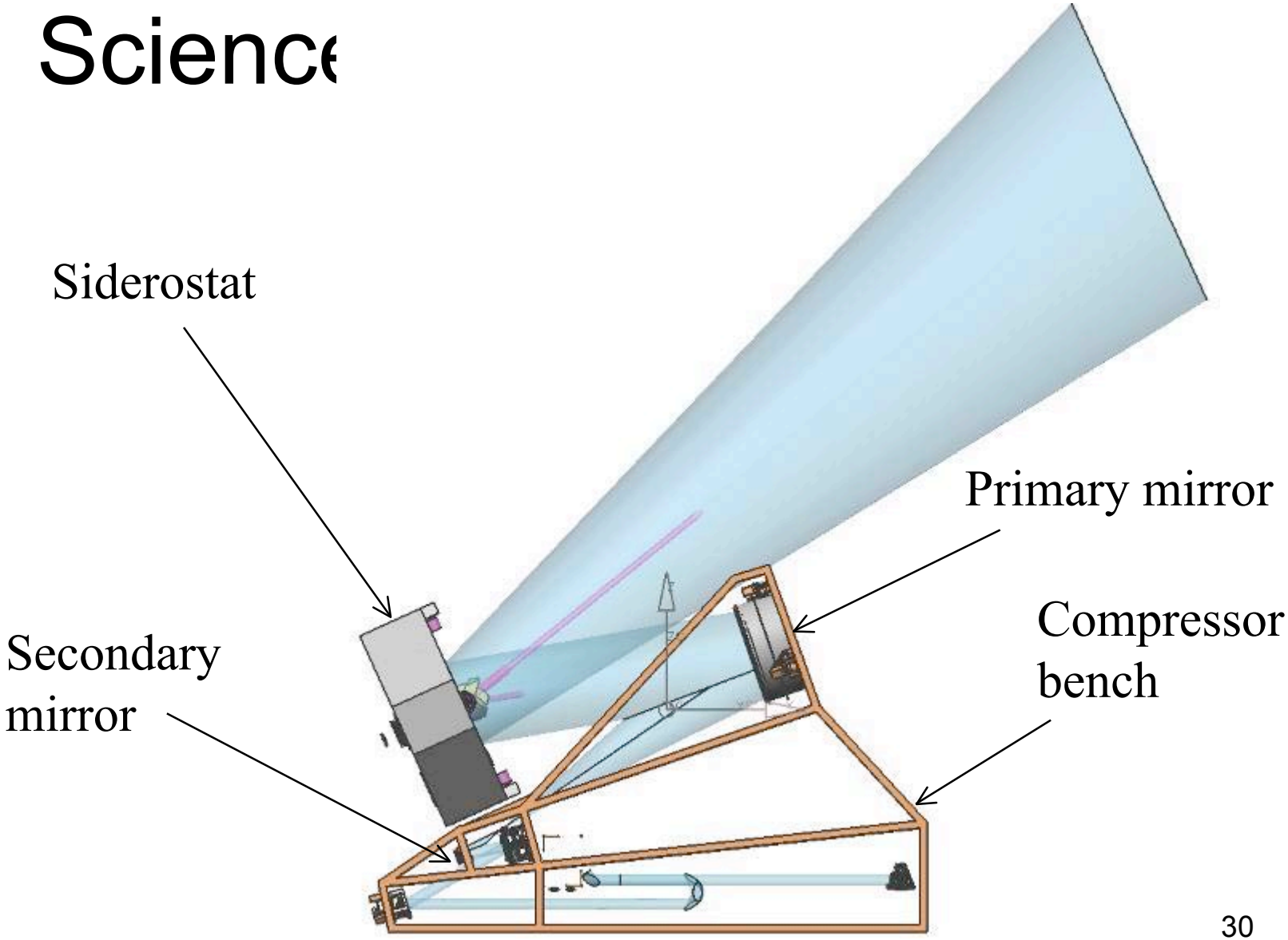
Optical Prescription



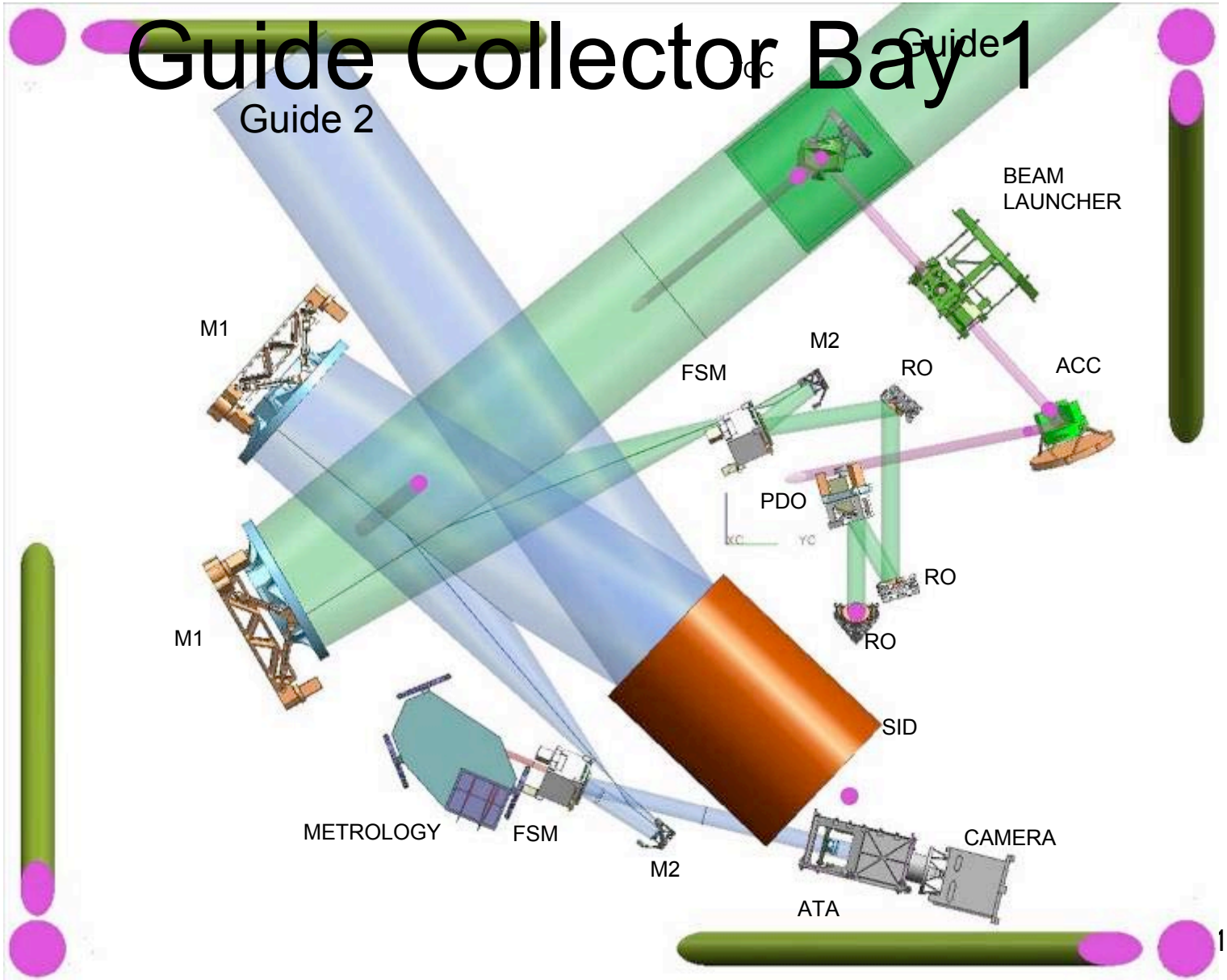
F


Spacecraft
Precision Support Structure
Instrument electronics & metrology sources

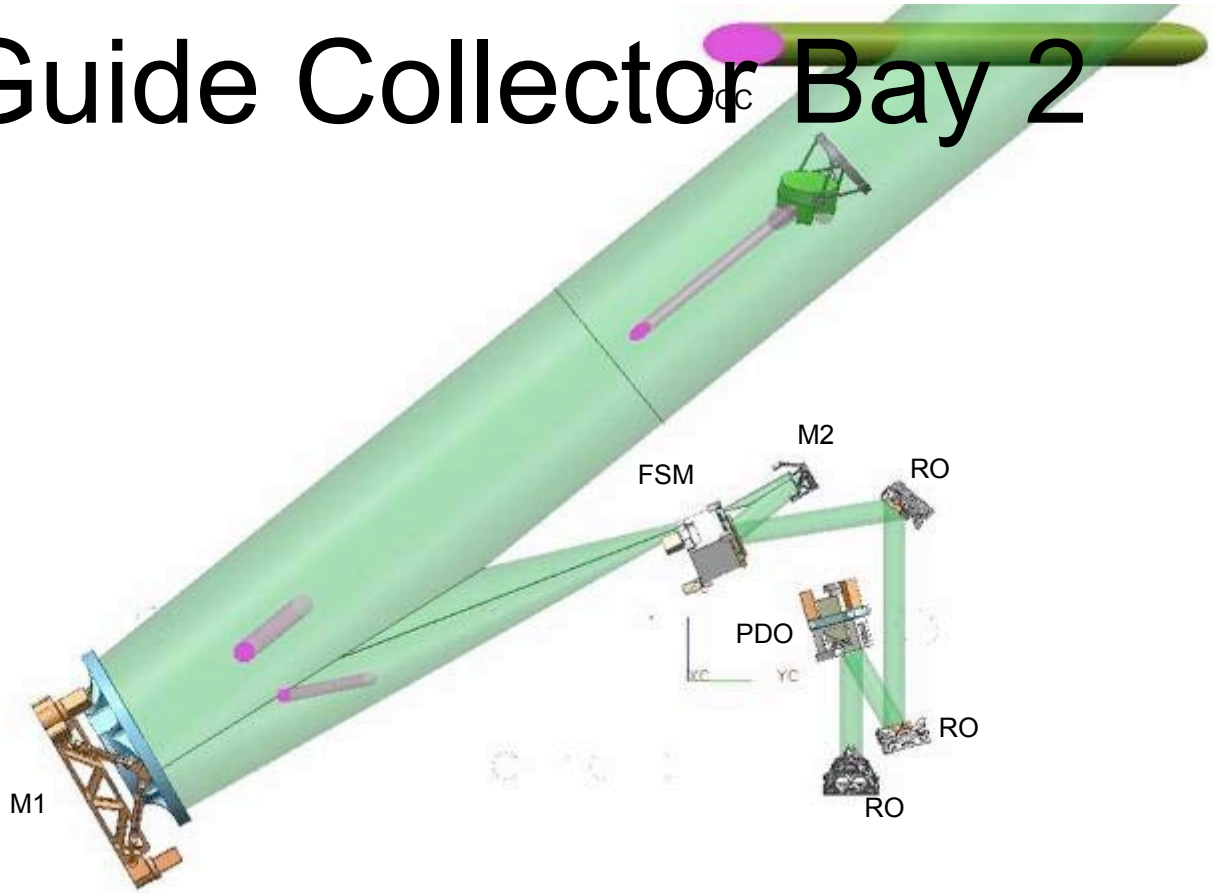
Science


Siderostat
Primary mirror
Compressor bench
Secondary mirror

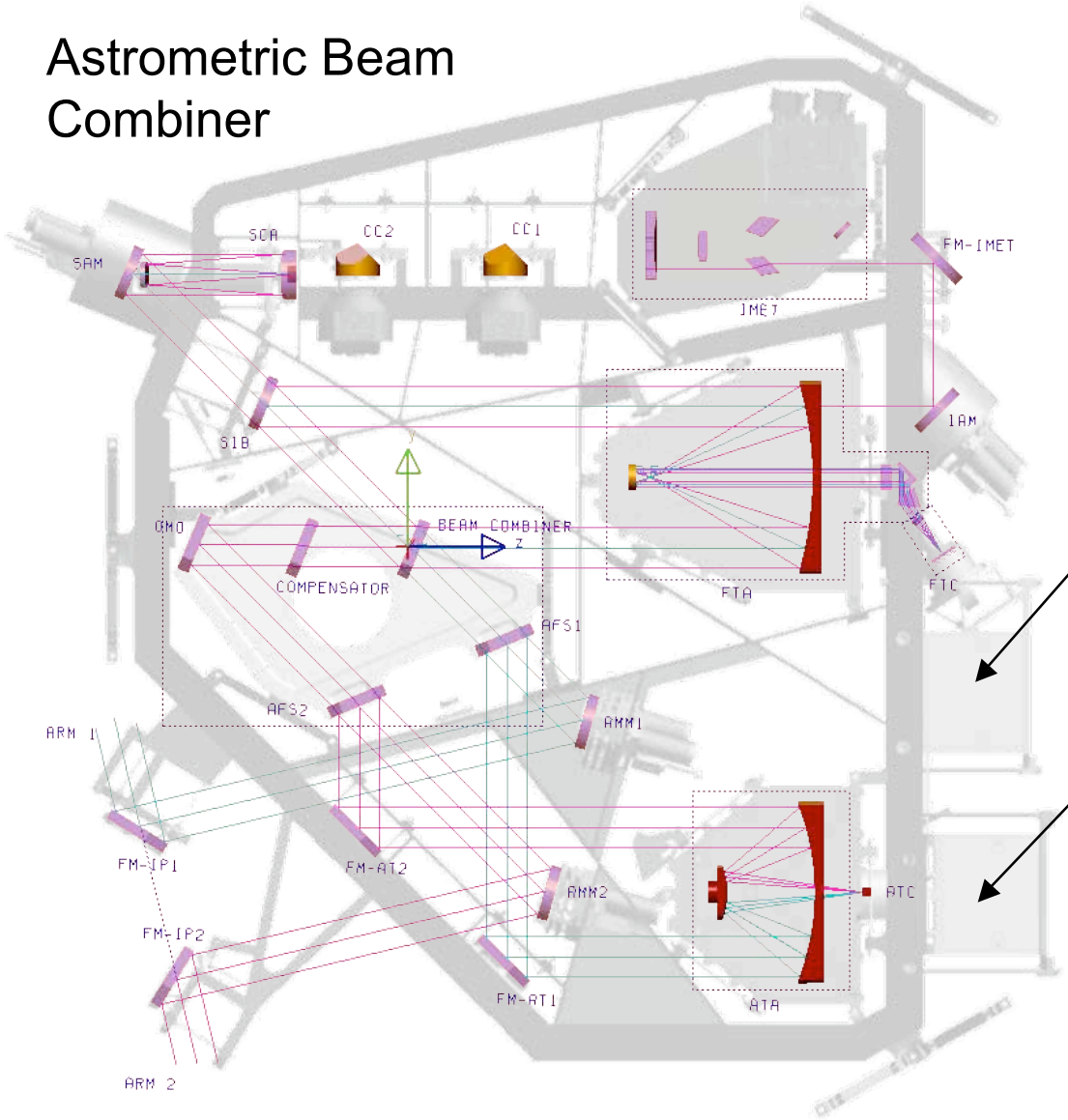
Guide Collector Bay 1



Guide Collector Bay 2



Astrometric Beam Combiner

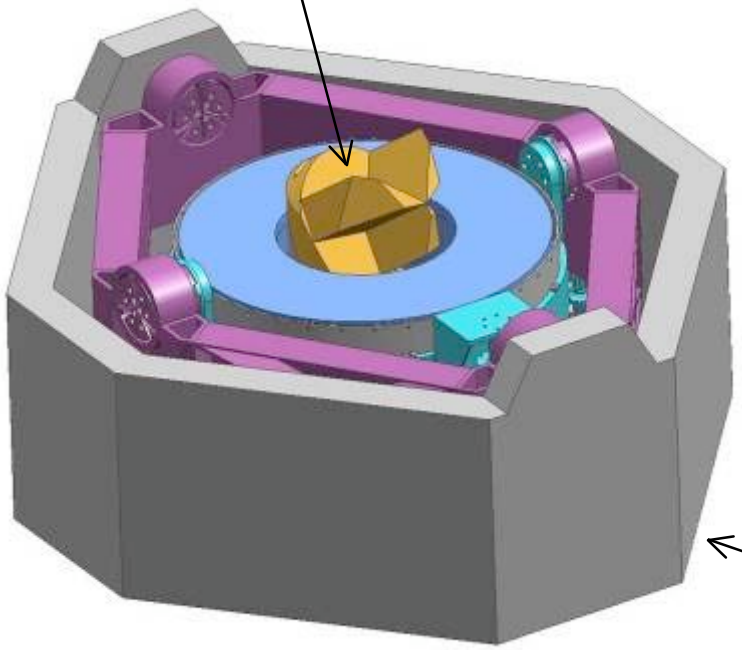


Fringe Tracker Camera

Angle Tracker Camera

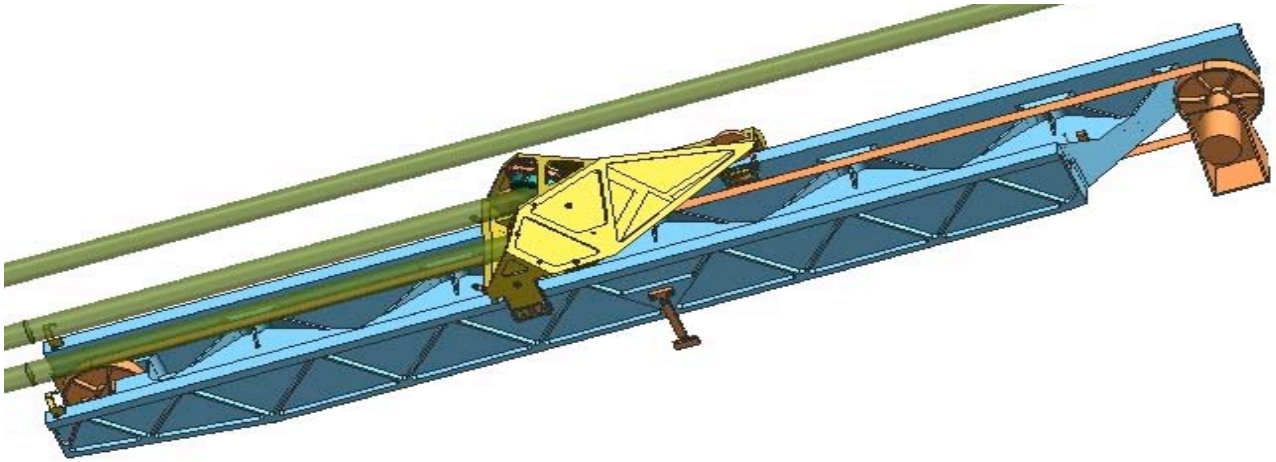
Siderostat

Double Corner-Cube

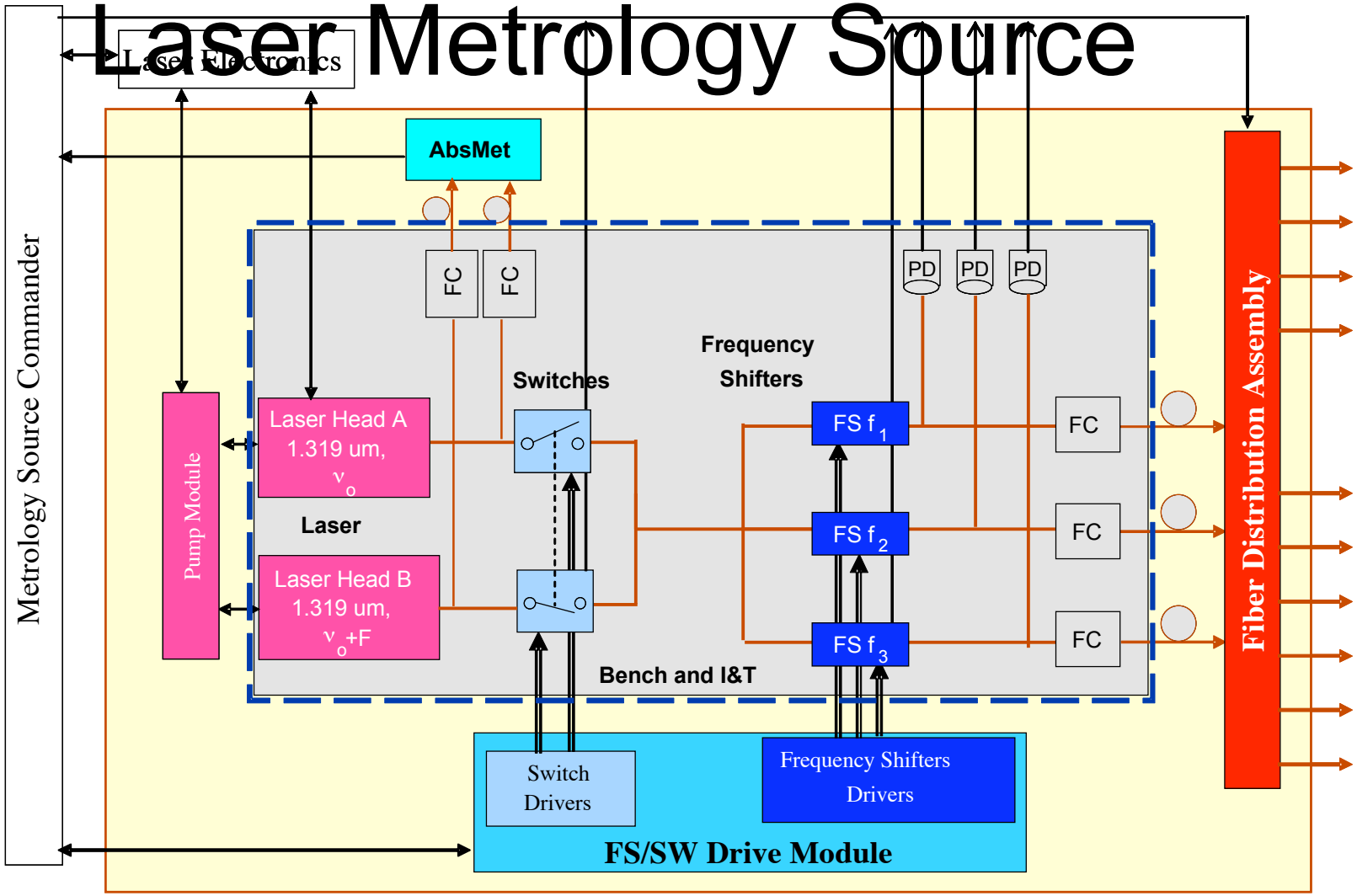


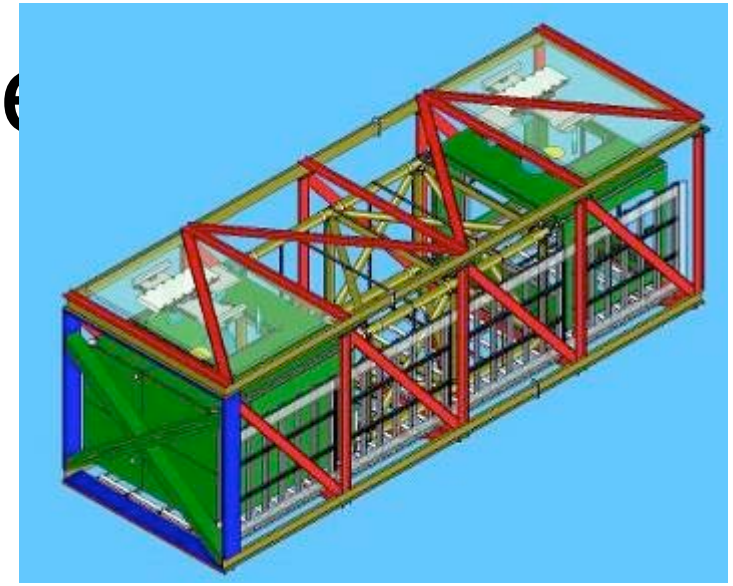
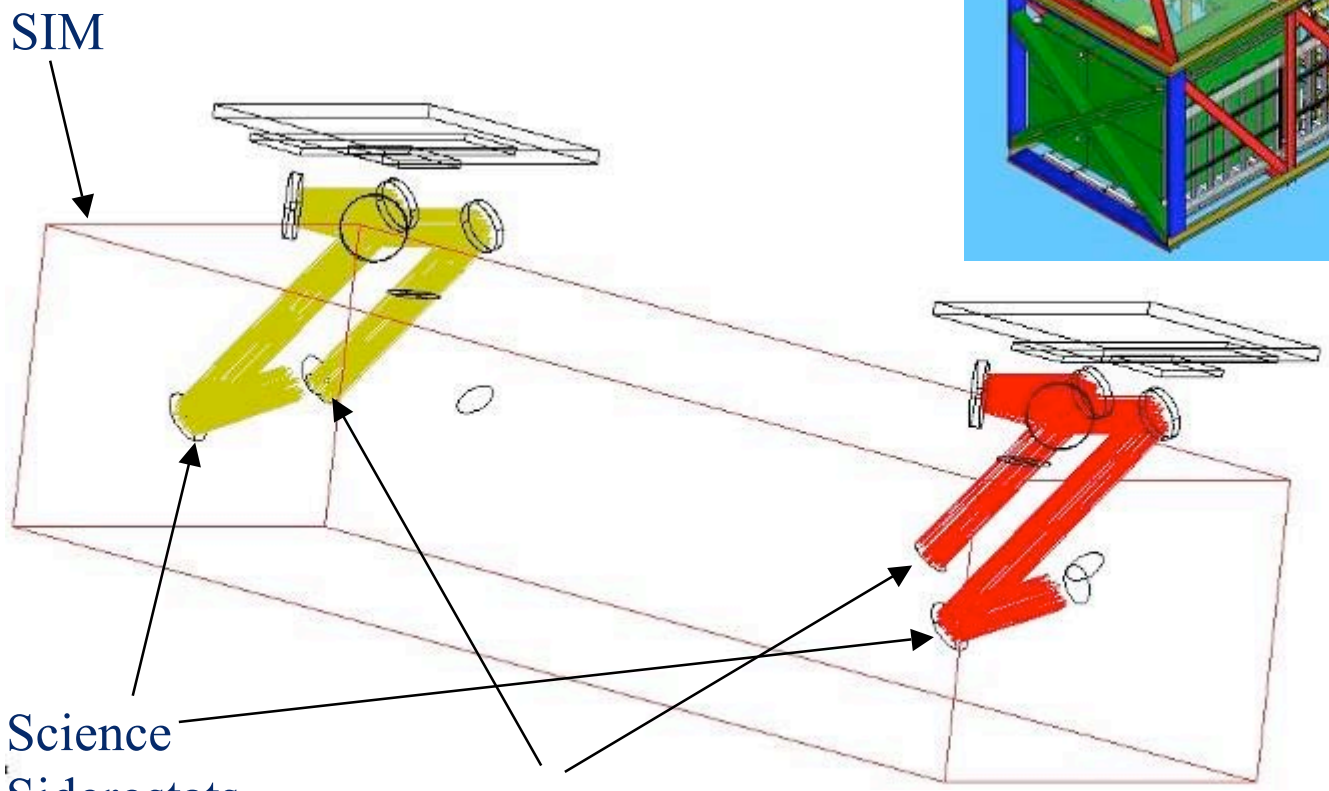
Siderostat mechanism

Optical Delay Line



Laser Metrology Source



PD: Photo-Diode FC: Fiber Coupler AbsMet: Absolute Metrology Counter

Astrometric Pse